

令和 4 年 5 月 19 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01296

研究課題名（和文）爆発的火山噴火を誘発するマグマの破砕メカニズムの解明と噴火推移予測モデルの構築

研究課題名（英文）Magma fragmentation mechanism inducing explosive volcanic eruptions and a prediction model for volcanic eruptions

研究代表者

奥村 聡（Okumura, Satoshi）

東北大学・理学研究科・准教授

研究者番号：40532213

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,700,000 円

研究成果の概要（和文）：火山噴火の爆発性を決定づけているのは、地表へ上昇するマグマの破砕である。マグマ破砕は高粘性流体であるマグマの流れを、マグマの飛沫を含む低粘性ガス流へと変化させることで爆発的噴火を引き起こす。本研究ではマグマ破砕のメカニズムを明らかにするために、火砕物の解析、減圧結晶化実験、物理モデルの構築と数値実験を行い、火砕物と実験試料の比較、地球物理観測の結果と数値実験の比較などを通して国内火山で過去に発生した爆発的噴火についてマグマの破砕条件を明らかにした。また得られた結果に基づいて、マグマ破砕条件と噴火推移の関係についても検討を進めた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

爆発的火山噴火は、粉々に破砕されたマグマが地表へ放出されることで発生する。本研究では、実際の火山噴火と火山噴出物の組織を実験と計算機を用いて再現し、破砕メカニズムを明らかにした。本研究の結果、マグマ中の結晶量が十分な量になるとマグマが破砕するケースや、結晶が少なくとも破砕するケースがあることが分かった。このような多様な破砕メカニズムが爆発的火山噴火の推移に影響を与えている可能性も示された。今後、ここでは対象としなかった他の火山噴火についても検討を進めることで、本モデルの妥当性を検証していく必要がある。

研究成果の概要（英文）：The explosive volcanism is controlled by magma fragmentation during its ascent. The fragmentation of magma causes explosive eruptions by changing the flow type from viscous flow to a low-viscous gas flow with magma fragments. In order to clarify the mechanism of magma fragmentation, we analyzed pyroclastic materials, and performed decompression experiments. We also conducted numerical simulation based on a physical model for magma flow in a volcanic conduit. Finally, we could determine magma fragmentation mechanism, and then the relationship between magma fragmentation conditions and eruption transition was also discussed.

研究分野：火山学

キーワード：爆発的火山噴火 マグマ破砕 減圧結晶化実験 噴火推移予測モデル 脱ガス

1. 研究開始当初の背景

1991年ピナツボ火山(フィリピン)、2011年霧島新燃岳など、世界中で発生する爆発的火山噴火は、地殻内のマグマだまりから地表へ向けて上昇したマグマが粉々に破碎されることで引き起こされる(例えば Zhang, 1999, Nature) (図1)。マグマが破碎せずに火口から静かに流出すれば、比較的穏やかな噴火となる。つまり、マグマ破碎は火山噴火の様式や推移を決定づけている過程であり、そのメカニズムと発生条件を理解することが重要である(図1)。これまでに提案されているマグマ破碎のメカニズムは、(1) 上昇・減圧中に発生する気泡の体積分率が一定値に達したら破碎する(気泡率条件)、(2) 気泡の急激な膨張に対して粘弾性的性質を持つマグマが固体的挙動を示し破碎する(歪速度条件)というものなどである。しかし、これらは室内実験や理論的な予測に基づくものであり、実際の火山噴火時のマグマ破碎がどのメカニズムに支配されているのか検証する研究はほとんど進められていない。

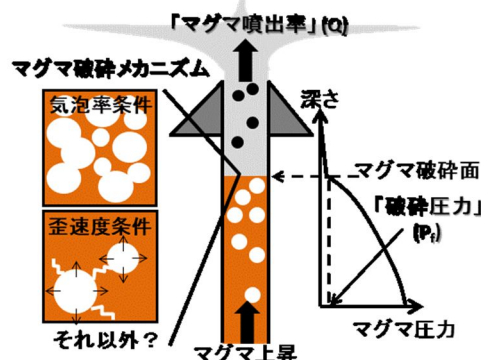


図1. 爆発的火山噴火とマグマ破碎の関係

2. 研究の目的

本研究はマグマ破碎メカニズムを解明し、爆発的火山噴火の一般モデルを構築することを目的とする。そのために、減圧中に形成される微結晶(マイクロライト)の形成速度を実験的に制約し、それを組み込んだマグマ上昇モデルを構築する。マグマ上昇モデルには様々な破碎条件(気泡率条件、歪速度条件、結晶量条件)を設定し、モデルから推定される火砕物の結晶組織と実際の火山噴出物の結晶組織が一致するのはどのような破碎条件の時か検討することで破碎メカニズムを制約する。

3. 研究の方法

本研究では、過去に国内で発生した3つの噴火例(霧島新燃岳2011年噴火、有珠火山1977年噴火、桜島大正噴火)について調べた。まず初めに、減圧結晶化実験を進めるために減圧率を精密にコントロールできる水熱合成実験装置を整備した。そして、上記の噴火を模擬した減圧結晶化実験を行い、結晶化速度を定量化した。また火道内を上昇する物理モデルに結晶化速度を組み込み、破碎メカニズムとして気泡率条件、歪速度条件、結晶量条件を設定した。上記3噴火例について、噴出物の解析を行い結晶度や気泡率などを測定した。計算と実際の測定結果を比較し、破碎条件を制約した。

4. 研究成果

以下に本研究で得られた主な成果をまとめる。

(1) 霧島新燃岳2011年噴火における破碎条件の推定

霧島新燃岳2011年噴火の火山噴出物の解析の結果、結晶量50vol%程度でマグマが破碎したことが分かった(図2)。またこの噴火のマグマに対して行った減圧結晶化実験の結果、これまでに報告されている珪長質マグマの結晶化速度よりも2桁程度早いことが分かった。ここで得られた結晶化速度などを考慮しマグマ上昇の計算を行った。その結果、歪速度条件により火山噴出物の組織が良く再現できることが明らかになった。特に粘性に対する結晶量の臨界値(粘性が大きく上昇する結晶量)を50vol%程度とすると、結晶量など多くの観測量を再現できることがわかった。

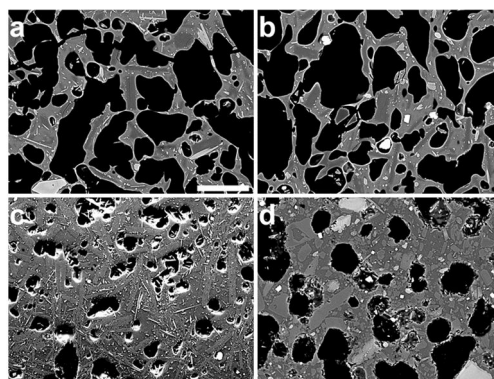


図2. (a)(b) 新燃岳2011年噴火の噴出物のSEM像、(c)(d) 減圧結晶化実験の回収試料のSEM像

(2) 有珠火山1977年噴火における破碎条件の推定

有珠火山1977年噴火については、(1) 減圧結晶化実験の方法の再検討と(2) 破碎条件の推定の二つの研究を進めた。(1) 減圧結晶化実験の方法の再検討では、減圧実験の出発物質の合成方法の違いによって結晶化過程が大きく変化することを明らかにし、減

圧実験に最適な条件を明らかにした(図3)。この研究により、大きく過加熱した試料を減圧実験の出発物質に用いると実際の火山噴出物の組織を全く再現できないこともわかった。今後、この問題は詳しく検討されるべきだろう。(2) 破碎条件の推定では、結晶化速度などを考慮したマグマ上昇計算を行った。結晶化が進行するとマグマ粘性が上昇するため、結果として上昇に対する粘性抵抗が大きくなる。そのため、マグマの減圧が進み気泡率も増加することが分かった。

(3) 桜島大正噴火における破碎条件の推定
桜島大正噴火について減圧結晶化実験を行い、結晶化速度を決定した。その速度は新燃岳2011年噴火よりも2桁程度遅かった。この結晶化速度を考慮したマグマ上昇のシミュレーションを進めた。破碎条件は決定できていない。

(4) 全体のまとめ

以上のように、過去に国内で発生した3つの噴火ケースについて減圧結晶化実験を行い、マグマ結晶化速度を決定することができた。新燃岳2011年噴火では結晶化がマグマ破碎に重要な役割を果たしており、破碎が歪速度条件で発生したと考えると多くの観測量が再現できることが分かった。減圧結晶化を考慮したマグマ上昇モデルを構築することができたので、破碎条件を設定すれば将来の噴火において噴火が爆発的になるか否かを予測することができる。今後、マグマ破碎の具体的メカニズムの理解を進めモデルへ組み込むことでより精密な予測が可能となると考える。

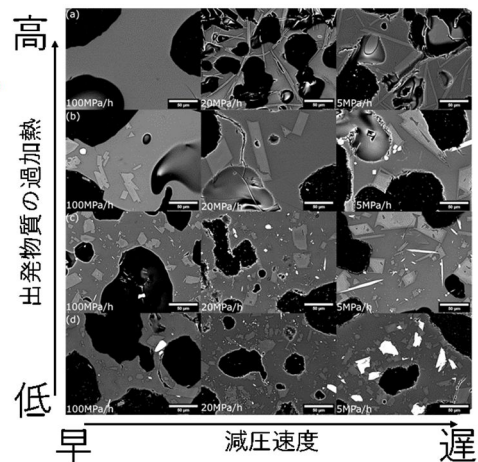


図3. 減圧結晶化に対する出発物質の過加熱と減圧速度の効果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Okumura Satoshi, L. de Silva Shanaka, Nakamura Michihiko, Sasaki Osamu	4. 巻 9
2. 論文標題 Caldera-forming eruptions of mushy magma modulated by feedbacks between ascent rate, gas retention/loss and bubble/crystal framework interaction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-019-52272-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Okumura Satoshi, Ishibashi Hidemi, Itoh Shoichi, Suzumura Akimasa, Furukawa Yoshihiro, Miwa Takahiro, Kagi Hiroyuki	4. 巻 106
2. 論文標題 Decompression experiments for sulfur-bearing hydrous rhyolite magma: Redox evolution during magma decompression	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 216 ~ 225
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2138/am-2020-7535	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kozono Tomofumi	4. 巻 73
2. 論文標題 The dynamics of dual-magma-chamber system during volcanic eruptions inferred from physical modeling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth, Planets and Space	6. 最初と最後の頁 0
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40623-021-01421-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Namiki Atsuko, Tanaka Yukie, Okumura Satoshi, Sasaki Osamu, Sano Kyohei, Takeuchi Shingo	4. 巻 392
2. 論文標題 Fragility and an extremely low shear modulus of high porosity silicic magma	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Volcanology and Geothermal Research	6. 最初と最後の頁 106760 ~ 106760
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jvolgeores.2019.106760	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shota Okumura, Satoshi Okumura, Akira Miyake	4. 巻 0
2. 論文標題 Tracht change of groundmass pyroxene crystals in decompression experiments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 0
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Satoshi Okumura, Tomofumi Kozono, Hans Keppler, Akihiko Tomiya, and Masashi Ushioda
2. 発表標題 Petrological, experimental, and theoretical studies of the sub Plinian eruptions during the 2011 Shinmoedake (Kirishima Volcano, Japan) eruption
3. 学会等名 IUGG2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Miwa, Satoshi Okumura, and Taketo Shimano
2. 発表標題 Decompression-induced crystallization of rhyolitic magma during the 838 eruption at Kozu Island, Japan
3. 学会等名 IUGG2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中竜太郎・奥村聡
2. 発表標題 マグマ断層帯における粘性流動 - 摩擦滑り遷移に対する結晶の効果
3. 学会等名 日本火山学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井亮輔・中村美千彦・奥村聡
2. 発表標題 マグマ中のメルトの蒸発凝縮作用におけるハロゲンの効果
3. 学会等名 日本火山学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryosuke Sakurai, Michihiko Nakamura, Satoshi Okumura, Mayumi Mujin, Takayuki Nakatani
2. 発表標題 Vapor transport in shallow intruded magmas: insights from diktytaxitic texture
3. 学会等名 JpGU2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小園誠史・上田英樹・小澤 拓・小屋口剛博・山崎 雅
2. 発表標題 霧島山新燃岳における2011, 2018年噴火間のマグマ蓄積条件の変化
3. 学会等名 日本火山学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Okumura, Shanaka de Silva, Michihiko Nakamura, Osamu Sasaki
2. 発表標題 Feedback between magma decompression rate and lubrication of crystal-rich silicic magmas controls eruption style
3. 学会等名 JpGU2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 奥村聡
2. 発表標題 マグマレオロジーと火山噴火ダイナミクスに関する実験的研究
3. 学会等名 日本火山学会2018年度秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中尾美紗子・中村美千彦・奥村聡
2. 発表標題 H ₂ O-CO ₂ 二成分系揮発性成分を含む定圧マグマ混合での化学発泡
3. 学会等名 日本火山学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomofumi Kozono, Takehiro Koyaguchi
2. 発表標題 Effects of conduit pressurization during eruption transition on crustal deformation
3. 学会等名 JpGU2018（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Okumura, Shanaka de Silva, Michihiko Nakamura, Osamu Sasaki
2. 発表標題 Gas bubble formation in crystal-rich magma and its roles on eruption dynamics
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2020（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kazuhisa Matsumoto, Satoshi Okumura, Akihiko Tomiya
2. 発表標題 Effect of superheating on decompression-induced crystallization of hydrous rhyodacite magma: An experimental study
3. 学会等名 JpGU2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小園誠史・石橋秀巳・奥村聡・三輪学
2. 発表標題 Effects of equilibrium crystallization on conduit flow dynamics during the 1986 eruption at Izu-Oshima volcano
3. 学会等名 JpGU2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 奥村聡・石橋秀巳・伊藤正一・鈴木明政・古川善博・三輪学央・鍵裕之
2. 発表標題 減圧するマグマの酸化還元状態の変化：減圧実験からの制約
3. 学会等名 JpGU2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小園誠史・奥村聡
2. 発表標題 マグマ破碎条件に基づく火道内マグマ物性への制約 2011年霧島山新燃岳噴火への適用
3. 学会等名 2021年度日本火山学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥村翔太・奥村聡・三宅亮
2. 発表標題 石基輝石の晶相に基づく桜島大正噴火のマグマ火道上昇履歴の制約
3. 学会等名 2021年度日本火山学会秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松本一久・奥村聡・中谷貴之・鈴木敏弘・東宮昭彦・宮下明典・石橋秀巳
2. 発表標題 玄武岩質マグマでの減圧結晶化実験の新技术
3. 学会等名 2021年度日本火山学会秋季大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小園 誠史 (Kozono Tomofumi) (40506747)	東北大学・理学研究科・准教授 (11301)	
研究分担者	伊藤 正一 (Shoichi Ito) (60397023)	京都大学・理学研究科・准教授 (14301)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
ドイツ	Bayerisches Geoinstitut	University of Bayreuth		